

小型 γ 相机压缩效应的实验研究*

曾海宁 许咨宗¹⁾ 汪兆民 刘士涛 陈承霖

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230026)

摘要 在一套平板式晶体单管 γ 相机上,研究了闪烁晶体的选择和处理对 γ 相机性能的影响. 结果表明:(1)采用侧面吸收的光学边界条件可以大大减小压缩效应;(2)晶体的发光效率对相机的固有空间分辨率影响很大,对于准直孔直径为 2mm 的 ^{241}Am 源,采用 CsI(Tl)晶体时相机的固有空间分辨率为 $\sim 1\text{cm}$,采用 NaI(Tl)晶体时为 $\sim 0.4\text{cm}$.

关键词 平板式晶体小型 γ 相机 压缩效应 固有空间分辨率

1 引言

位置灵敏光电倍增管(PSPMT)的出现,为 γ 相机的发展提供了一个新的方向^[1]. 与传统的 γ 相机相比^[2],PSPMT 的 γ 相机具有空间分辨率好、体积小、重量轻、使用灵活等特点^[3-8]. 但由于 PSPMT 的灵敏区比较小,这种相机的非线性(压缩效应)比较严重,限制了其在实际中的应用. 在 Monte-Carlo 模拟的基础上,我们在一套平板式晶体单管 γ 相机系统上对晶体的选择进行了研究,在实验上验证了晶体侧面光学条件对压缩效应的影响,为这种 γ 相机的改进提供了依据.

2 装置结构

PSPMT 的 γ 相机系统由平行孔铅准直器、平板式晶体、PSPMT、电子学读出系统和计算机等几部分构成^[9],测试装置如图 1 所示.

平行孔铅准直器为一厚 20mm,直径 60mm 的圆柱体,准直孔直径 2mm,孔心距 3mm;放射源为 ^{241}Am ,强度 50mCi;源的屏蔽体为铁,留有一直径稍微大于 2mm 的出射孔;准直器与屏蔽体的出射孔由塑料导向梢来对准. 测试中,沿着准直器的一条直径,逐孔测量系统的能量和位置响应.

所用晶体有 3 种类型,A 是一尺寸为 $70 \times 70 \times 5\text{mm}^3$ 的平板式 CsI(Tl),晶体本身不

1999-10-11 收稿

* 国家自然科学基金资助(1977504)

1) 联系人

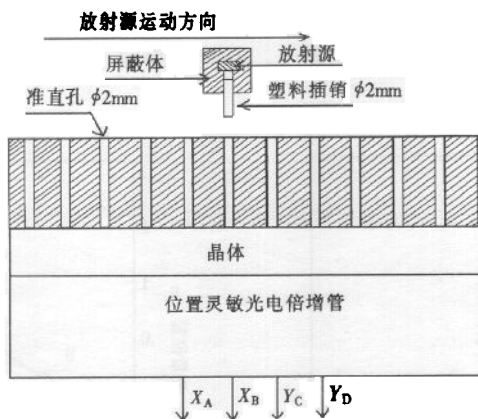


图 1 测试装置示意图

带出射玻璃窗,侧面贴上黑胶纸以达到吸收的效果;B 与 A 为同一晶体,但侧面贴上白胶纸以达到慢反射效果. C 为一平板式 NaI(Tl),直径 75mm,厚 10mm,封装在带有薄铝窗的容器内,除出射窗外的各侧面由漫反射层(MgO)包覆,出射玻璃窗厚~3mm.

由于光阴极有效面积和晶体尺寸有限,通过重心法判断 γ 射线击中晶体的 x, y 坐标位置时会造成向中心偏移的效应(压缩效应). 由 Monte - Carlo 模拟可知晶体的边界光学条件对相机的性能影响很大,当打到侧面处的闪烁光子反射回来作用在光阴极上时,图像的压缩效应会加剧;采用侧面吸收条件会缓和这种压缩效应^[10]. A, B 是为了直接地比较侧面光学条件的影响而设计的. C 型选择晶体直径比光阴极直径大的原因是尽量避免边界的影响,这样原本在边界处堆积的闪烁光子有一部分会从光电倍增管的旁边射出,而不作用在光阴极灵敏区上,其效果与侧面吸收条件相近

所用的 PSPMT 为 Hamamastu R - 2486 - 05 型,光阴极有效直径为 50mm,阳极丝分两层交错排列,各 16 根,附带电阻链读出系统及前置放大器,输出信号为 4 路: $x_A, x_B,$

y_C, y_D , 通过信号读出和处理系统给出事例击中位置和总能量的信息: $x = \frac{x_A - x_B}{x_A + x_B},$

$y = \frac{y_C - y_D}{y_C + y_D},$ 能量 $E = x_A + x_B + y_C + y_D.$

3 测试结果

A, B 晶体的能峰道数随测量位置的变化如图 2 所示,两种情况下的光电倍增管高压、电子学放大倍数都是一样. 从图中可以看出,晶体侧面贴上白边时能峰位置比贴黑边时大~50%,这说明黑边对光子的确起到了吸收的作用.

沿着光电倍增管几何中点的一条轴线上系统的位置非线性(压缩效应)如图 3 所示. 二维平面上可用下列式子来拟合轴线上压缩效应曲线:

$$\begin{cases} x' = a_1(1 + a_2((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)) \cdot (x - x_0) + x_0' \\ y' = a_1(1 + a_2((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)) \cdot (y - y_0) + y_0' \end{cases} \quad (1)$$

x, y 为实际位置, x', y' 为测量位置. 参数 a_1 代表 x, y 平面坐标系尺度与 x', y' 平面坐标系尺度的比例, 称为灵敏度; 参数 a_2 代表了曲线的弯曲度, 称其为压缩率. 从实验结果

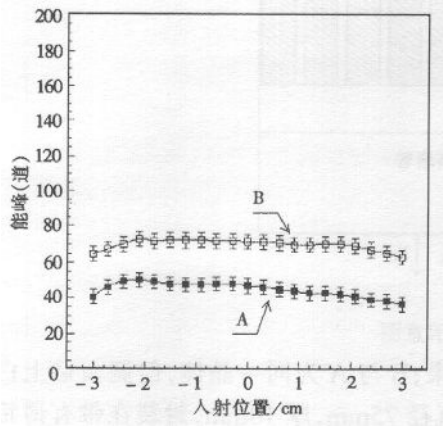


图2 晶体能峰道数随入射位置的变化

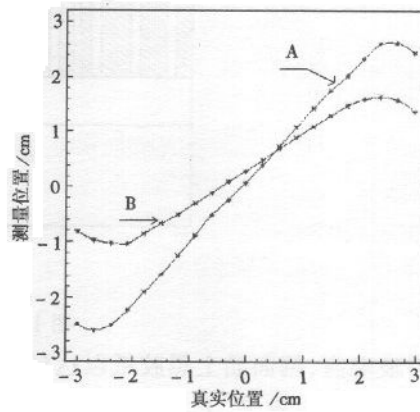


图3 位置的测量值与真实值的对应关系

(表1)来看, 贴黑边条件下的灵敏度比贴白边条件下的大, 而压缩率则要小. 这说明在晶体侧面采取吸收光子的措施确能起缓和压缩效应的作用.

压缩效应不但影响系统的线性, 而且对均匀性有很坏的影响, 造成相机有效视野的减小. 由于采用 CsI 晶体时相机的空间分辨率很差(详见下文), 不适合用于成像, 以下仅对采用 C 晶体时相机的均匀性与视野的关系进行讨论.

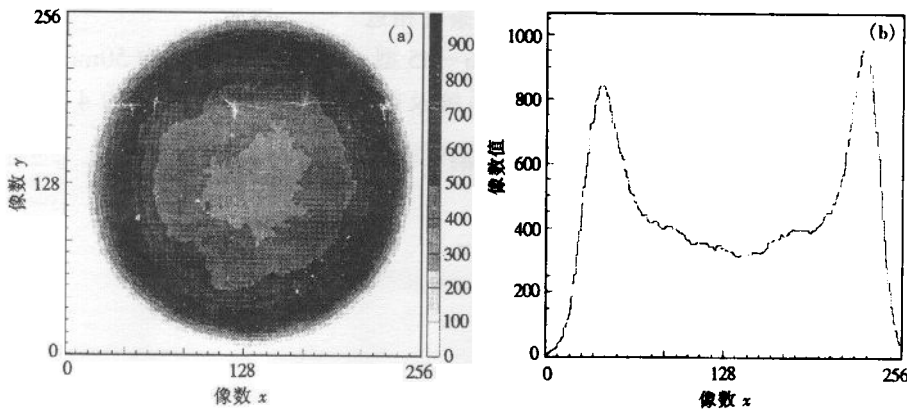


图4 ^{57}Co 面源成像

(a) $x-y$ 平面像数值(用黑白度区分)的分布;

(b) 通过 $y=128$, 沿 x 方向的像数值分布.

图4显示的是采用 C 晶体时对 ^{57}Co 均匀面源(均匀性为 5‰)成的像, 视野为 $\phi 55\text{mm}$. 图中可明显看到压缩效应, 原本均匀的分布变成中间低、周围高的分布. 用来表示相机的均匀性的指标有积分均匀性(Integral uniformity)和微分均匀性(Differential uniformity). 积分均匀性表示均匀入射的 γ 射线在探头的有效范围内最大计数密度的变化;

微分均匀性表示均匀入射的 γ 射线在探头上单位面积内计数密度的变化,如式(2)所示.

$$\begin{aligned} \text{积分均匀性} &= \pm \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\text{Max} + \text{Min}} \times 100\% \\ \text{微分均匀性} &= \pm \frac{\text{High} - \text{Low}}{\text{High} + \text{Low}} \times 100\%, \end{aligned} \quad (2)$$

式中,Max,Min,High,Low 分别表示泛源图像中最大、最小计数值和具有最大计数差的相邻 5 个像素中最高、最低计数值.

在不限制视野时,相机的积分均匀性为 50%,微分均匀性为 28%;用铅环限制视野为 $\phi 45\text{mm}$ 时,积分均匀性为 34%,微分均匀性为 17%;在 $\phi 35\text{mm}$ 视野内,积分均匀性为 9%,微分均匀性为 7%.

分别采用上述 3 种晶体时相机的性能参数见表 1,其中空间分辨率指的是晶体中心附近的固有空间分辨率.

表 1 分别采用 3 种晶体时相机的参数

	A	B	C
能量分辨率	63.0%	46.0%	27.4%
灵敏度 a_1	1.2172490	0.7655647	1.4268440
压缩率 a_2 ($1/\text{cm}^2$)	-0.0320149	-0.0557248	-0.0478650
空间分辨率 FWHM	0.89cm	1.12cm	0.43cm

由上表可知,由于 A,B 是 CsI(Tl)晶体,发光效率是 NaI(Tl)晶体的 40%,它们的空间分辨率明显比 NaI(Tl)晶体 C 差. 在晶体中心处,A 的空间分辨率为 $\sim 9\text{mm}$,C 仅为 4.3mm. 这从实验上说明,单晶体 γ 相机由于闪烁光子在晶体内散布较宽,不宜采用发光效率低的晶体,否则空间分辨率很差.

4 总结

小型 γ 相机结构简单、体积小、使用方便,限制其性能最主要的因素是压缩效应,光阴极有效区直径为 50mm,但有效成像范围 $< 45\text{mm}$. 缓和压缩效应的方法有:(1)采用侧面吸收的光学条件,使打到晶体侧面的闪烁光子不被接收,这样可以大大减轻压缩效应;(2)加上合适的铅环,阻拦 γ 射线,不使其落入压缩效应大的区域,从而使系统均匀性得到改善.

此外,CsI(Tl)晶体由于发光效率低,应用在平板式晶体单管 γ 相机中时能量分辨率和空间分辨率都差,不适合用于平板式晶体小型 γ 相机的场合.

在研究工作中得到了上海硅酸盐研究所沈定中教授的支持和帮助,在此表示衷心感谢.

参考文献(References)

- 1 Suzuki S, Nakaya T, Suzuki A, et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1993, 40(4):431—433

- 2 Anger H O, IEEE Trans. Nucl. Sci. , 1966, **NS-13**:380—392
- 3 Bird A J, Ramsden D. Nucl. Instr. And Meth. , 1990, **A299**:480—483
- 4 Guru S V, He Z, Ferreria, J C et al. Nucl. Instr. And Meth. , 1994, **A353**:328—333
- 5 Redus R H. , Nagarker V, Cirignano L J et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. , 1992, **39**(4):948—951
- 6 Clancy R L, Thompson C J, Robar J L et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. , 1997, **44**(3):494—498
- 7 He Z, Bird A J, Ramsden D et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. , 1993, **40**(4):447—451
- 8 Blazek K, de. Notaristerfani F, Maly P et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. , 1995, **42**(5):1474—1482
- 9 ZENG HaiNing, YAN ShiKui, WANG ZhaoMin et al. "A Small Gamma Camera based on PSPMT" submitted to (Nuclear Techniques)
(曾海宁,严世奎,汪兆民等. 基于位置灵敏光电倍增管的小型 γ 相机,核技术,待发表)
- 10 ZENG HaiNing, XU ZiZong, WANG ZhaoMin. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 2000, **24**(2): 124—130
(曾海宁,许咨宗,汪兆民等. 高能物理与核物理,2000, **24**(2):124—130)

Experimental Study on Image Shrinkage in a Planar Crystal γ Camera

ZENG HaiNing XU ZiZong¹⁾ WANG ZhaoMin LIU ShiTao CHEN ChengLin

(Department of Modern Physics, University of Science & Technology of China Hefei 230026, China)

Abstract The effect of the crystal's type and treatment on the performance of gamma camera consisting of planar crystal and position sensitive photomultiplier tube (PSPMT) is studied via experiment. The results demonstrate that: (1) treatment of the edge surface of the crystal is very sensitive to the shrinkage of image, and the side-absorption surface is the best choice; (2) the intrinsic spatial resolution of the CsI (T1) crystal camera is worse due to its low light yield: in the center part it is $\sim 1\text{cm}$ (FWHM) for $\phi 2\text{mm}$ aperture collimated ^{241}Am source; while using NaI(T1) crystal, it is $\sim 4\text{mm}$.

Key words gamma camera based on planar crystal and PSPMT, shrinkage, intrinsic spatial resolution

Received 11 October 1999

* Project Supported by NSFC (1977504)

1) Corresponding Author